Engng.J.CMU.(2018) 25 (3), 102-112

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการผลิตโฟมกลาสจากเศษแก้วสีอำพัน

Education Factors Suitable for The Production of Foam Glass Foam Amber Glass Splinter

บัญญัติ พันธ์ประสิทธิ์เวช และ ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

Banyat Panprasitvech and Patipat Hongsuwan

Department of Industrial Engineering and Management,

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University.

E-mail: otani1443@yahoo.co.th โทรศัพท์ 092 3432389

บทคัดย่อ

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตโฟมกลาส ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาส ซึ่งทำการทดสอบสาร 2 ชนิด คือ โพแทสเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตที่เวลาและอุณหภูมิเดียวกัน เพื่อหาชนิดของสารที่ดีที่สุดในการฟองตัว โดยการออกแบบการทดลองโดยใช้การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป ในขั้นตอนการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาขนาดของผงแก้วที่เหมาะสม และการทดลองเพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตโฟมกลาสด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีด้วยกัน 3 ปัจจัย คือ สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส เวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ขนาดของผงแก้วที่เหมาะสมคือน้อยกว่า 75 ไมครอน สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาสต้องมีส่วนผสมของโพแทสเซียสคาร์บอเนต เพราะโพแทสเซียสคาร์บอเนตจะสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งทำให้มีการพองตัวได้ดีกว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนต อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาโฟมกลาสที่เหมาะสมคืออุณหภูมิที่ 840 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการแช่ 20 นาที

คำสำคัญ: โฟมกลาส การทดลองแฟกทอเรียล

ABSTRACT

The purpose of this research aims to investigate the factors affecting foaming of foam glass performed with two substances which are Potassium Carbonate and Sodium Carbonate at the same operating period and temperature. The best foaming substance could be found out by full factorial experiment. The study is divided into two main parts. The first one is an experiment on the appropriate size of the glass powder then finding the factors and the finally is suitable condition for foam glass production by response surface technique. The considered factors are the formula used in the foam glass production, the soaking period at a specified temperature and the temperature in foam glass burning by Minitab Program at a level of 0.05 significance. The statistical analysis shows that the appropriate size of the glass powder is 75 microns. The recipe to produce foam glass must have Potassium Carbonate ingredient since the substance could be disintegrated at a lower temperature compared with Sodium

Received 7 November 2016
Accepted 13 July 2017

Carbonate thus better inflation could be formed. The suitable temperature period for foam glass burning is 840°C and the soaking period at this temperature is 20 minutes.
Keywords: Foam Glass, Factorial Design

1. บทนำ

ในปัจจุบันเราได้ตระหนักถึงปัญหาของสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่ระมัดระวัง ซึ่งส่งผลกระทบและก่อให้เกิดปัญหาในด้านต่าง ๆ รวมถึงปัญหาปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้น วรรณา ต.แสงจันทร์ [1] กล่าวว่าประเทศไทยมีเศษแก้วทิ้งอยู่ประมาณ 40,000 ตันต่อปี ได้นำเศษแก้วมาบดและเผาขึ้นรูปเพื่อดูคุณสมบัติเพื่อสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตแก้ว ซึ่งเศษแก้วเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในอนาคต ทำให้หน่วยงานรัฐและเอกชนต่าง ๆ ได้ร่วมรณรงค์ให้มีการนำวัสดุที่เหลือใช้นี้กลับมาใช้ใหม่ (Recycling) และการใช้ซ้ำ (Reuse) จึงเป็นแนวทางตลอดจนมาตรการในการจัดการกับวัสดุขยะที่ยังมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์เหล่านี้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการบูรณาการองค์ความรู้อื่นเข้าไปมีส่วนร่วมในการจัดการ ก็ยิ่งเป็นการเพิ่มทางออกที่หลากหลายให้กับการแก้ปัญหาดังกล่าวได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการทำโฟมกลาส จากเศษแก้วโดย นำแก้วที่บดละเอียดผสมกับสารที่ให้ก๊าซหรือสารก่อฟอง (Gasifier or Foaming Agent) ส่วนมากเป็นพวกคาร์บอน หรือสารประกอบของคาร์บอน (Carbonaceous Substances) ซึ่งการทำอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว จะสามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน การทำโฟมกลาสจากเศษแก้วทำได้โดยนำเศษแก้วมาบดให้ละเอียด จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยสารประกอบที่ต่างกัน Yigit Attila [2] ได้กล่าวถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ 700 - 900 องศาเซลเซียส ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่สามารถบอกถึง ขนาดความโตของผงแก้วที่นำมาทดลอง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้สำหรับการทดลองการผลิตโฟมกลาส มีผลต่อคุณสมบัติการผลิตโฟมกลาสอย่างไร

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบการทดลองโดยใช้การทดลองแฟคทอเรียล และใช้โปรแกรม Minitab ในการตรวจสอบว่าสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส อุณหภูมิและเวลามีผลต่อคุณสมบัติของโฟมกลาส โดยกำหนดให้การเผาโฟมกลาสที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน เพื่อหาสูตรที่ใช้ผลิต เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำโฟมกลาสจากเศษแก้ว เพื่อเป็นแนวทางเลือกในอุตสาหกรรมวัสดุและการศึกษาต่อไปในการนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนต่างๆ ได้ เช่น ผนัง ฉนวนกันความร้อน สำหรับอาคารบ้านเรือน หรือ อุตสาหกรรมงานก่อสร้าง และอื่นๆ

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาส

ขอบเขตการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย มีลักษณะเป็น 2 กลุ่มทดลอง ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของโฟมกลาส สูตร A และสูตร B ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมของโฟมกลาส

ส่วนผสม	สูตร A (เปอร์เซ็นต์)	สูตร B (เปอร์เซ็นต์)
ผงแก้ว	86.54	86.54
โซเดียมซิลิเกต	6.73	6.73
กลีเซอรอล	2.88	2.88
โพแทสเซียคาร์บอเนต	3.85	-
โซเดียมคาร์บอเนต	-	3.85

* ผงแก้วที่นำมาทดลองเป็นผงแก้วที่ได้มาจากขวดเบียร์ลีโอ

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 ตัวแปรต้นได้แก่ ขนาดความละเอียดผงแก้ว และสูตร

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ การพองตัวของโฟมกลาส

2.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ระยะเวลาในการบดผงแก้ว อุณหภูมิในการเผา และเวลาในการแช่ของอุณหภูมิ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา [3] กล่าวว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรปัจจัย หรือตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนองหรือตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะใด เพื่อประโยชน์ในด้านการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ค่าตอบสนองหรือลักษณะทางคุณภาพที่สนใจ) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยจะออกมาในรูปสมการการพยากรณ์ ($Y=f(x)$) เพื่อพยากรณ์ค่าในอนาคต ส่วนการออกแบบการทดลองผลลัพธ์ที่ได้จะทราบว่าปัจจัยหรือตัวแปรอิสระใดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเชิงแฟคทอเรียลระดับ 2^k และ 3^k

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ปกติในการออกแบบจะแทนระดับสูงด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำด้วยเครื่องหมาย “-”

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลางและสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามเป็นตัวเลข -1, 0 และ 1 ตามลำดับ

2.3 พื้นผิวผลตอบสนอง

ปารเมศ ชุติมา [4] ได้กล่าวไว้ว่าวิธี (Response Surface Methodology: RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์ และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ตัว และต้องการที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลการตอบสนองเหล่านี้

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

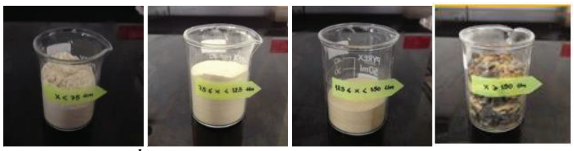
การวิจัยนี้เป็นวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาส มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาขนาดผงแก้วที่เหมาะสม

นำเศษแก้วสีชามาบดหยาบด้วยเครื่องบด Ball Mill จากนั้นนำผงแก้วที่ผ่านการบดหยาบมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 125 และ 75 ไมครอนตามลำดับ โดยผงแก้วที่ผ่านการร่อนจะมีขนาดของผงแก้วดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยผงแก้วที่มีขนาด 1-75 ไมครอน
2) ค่าเฉลี่ยผงแก้วที่มีขนาด 75-125 ไมครอน
3) ค่าเฉลี่ยผงแก้วที่มีขนาด 125-150 ไมครอน
4) ค่าเฉลี่ยผงแก้วมีขนาดโตกว่า 150 ไมครอน

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาสเท่ากับ 700 840 และ 940 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างขนาดของผงแก้ว

นำผงแก้วที่ผ่านการแยกขนาดเรียบร้อยแล้วมาทดลองผสมสูตร 2 สูตร โดยสูตร A ใช้โพแทสเซียคาร์บอเนตและสูตร B โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาณเท่ากัน 3.85% ในการทำทดลองผลิตเม็ดโฟมกลาส ดังตารางที่ 1 แล้วจะนำไปขึ้นรูปด้วยบล็อกเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม.หนา 10 มม. ซึ่งเป็นการใช้กำลังมือในการกดอัดให้เป็นเม็ด ให้มีน้ำหนักเม็ดละ 10 กรัม จากนั้นทดลองเผาที่อุณหภูมิ 700, 840 และ 980 องศาเซลเซียส และการแช่ไว้ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน เวลาใช้การแช่ 10, 20 และ 30 นาที แล้วทำการเก็บข้อมูลในตารางบันทึกผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อหาขนาดผงแก้วที่เหมาะสมที่สามารถนำไปทดลองได้ โดยการวัดค่าความหนาแน่นของโฟมกลาสจากสูตร

จากสูตร $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi r^2 h}$

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

m คือ น้ำหนักของวัตถุ (kg)

V คือ ปริมาตรของวัตถุ (m^3)

3.2 การออกแบบการทดลอง

เมื่อทดลองและวัดค่าความหนาแน่นเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาขนาดของผงแก้วที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลอง

การกำหนดสมมติฐาน รูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย มีลักษณะความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

สมการเส้นตรงเต็มรูป : $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$

เมื่อวิเคราะห์หาผงแก้วที่เหมาะสมแล้ว ให้ทำการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ 3^k ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ศึกษาพื้นผิวตอบสนองด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ 3^k

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
		Low (-1)	Medium (0)	High (1)	
สูตร	Formula	A	-	B	-
เวลา	Time	10	20	30	Minute
อุณหภูมิ	Temperature	700	840	980	°C

ทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ 3^k โดยมีการทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง ดังนั้นจะได้การทดลอง 90 การทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อเป็นการลดค่าความแปรปรวน

3.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ 3^k

นำผลการทดลองทำได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลโดยใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป ซึ่งมีขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 2 ขั้นตอน คือ การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) และการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อในการผลิตโฟมฟลาส โดยศึกษาจากพื้นผิวตอบสนองของตัวแปรเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

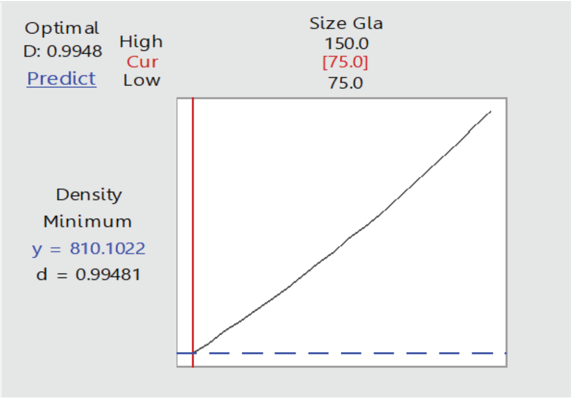
4.1 การทดลองเบื้องต้นโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

จากการทดลองเพื่อหาขนาดของผงแก้วที่ดีที่สุดในการนำไปวิเคราะห์หาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการพองตัวของโฟมกลาส การทดลองนี้จะนำผงแก้วทั้งสามขนาดไปผสมทั้ง 2 สูตร จากนั้นนำไปขึ้นรูปและเผาที่อุณหภูมิ 840 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งใช้เวลาในการแช่ 20 นาที ดังผลการทดลองตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความหนาแน่นของโฟมกลาสทั้ง 2 สูตร

No.	ค่าเฉลี่ยของผงแก้ว (μm)	ความหนาแน่น (Kg/m^3)	
		สูตรที่ A	สูตรที่ B
1	1 – 75	806.31	896.74
2	75 - 125	889.93	1,007.80
3	125 - 150	1,098.36	1,537.58

ขนาดผงแก้ว ที่มีขนาดโตกว่า 150 ไมครอนไม่สามารถทำการทดลองได้จากข้อมูลผลการทดลองเบื้องต้น ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ขนาดของผงแก้วที่เหมาะสมในการนำไปทดลองขั้นต่อไป คือ ผงแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ดังรูปที่ 2



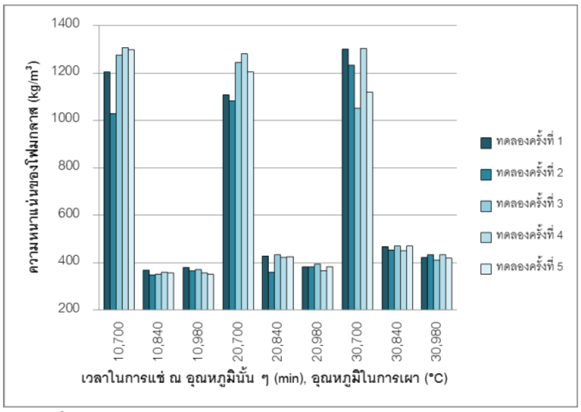
รูปที่ 2 แสดงขนาดของผงแก้วที่เหมาะสม โดยใช้ Optimization Plot

4.2 การทดลองโดยใช้การออกแบบ การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับและสามระดับ

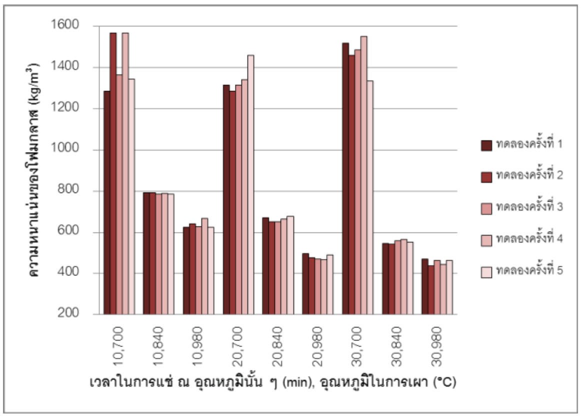
เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการพองตัวของโฟมกลาสขั้นตอนต่อไปก็คือ การดำเนินการทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบ พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง และผลการทดลองโดยกำหนดค่า α ไว้ที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ 3^k ที่มีการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

Run Order	Factor			Density				
	Formula	Time	Temperature	1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	1,204.33	1,029.86	1,275.78	1,306.19	1,297.78
2	-1	-1	0	1,107.29	1,082.86	1,244.73	1,280.61	1,203.58
3	-1	-1	1	1,300.30	1,234.18	1,051.07	1,303.27	1,120.26
4	-1	0	-1	366.83	349.24	350.92	358.70	356.43
5	-1	0	0	428.80	359.91	434.03	421.04	425.15
6	-1	0	1	467.52	452.49	469.89	451.04	471.48
7	-1	1	-1	377.96	364.10	369.49	357.95	351.23
8	-1	1	0	381.81	382.87	392.72	366.08	382.87
9	-1	1	1	421.63	433.60	411.56	434.24	418.00
10	1	-1	-1	1,283.67	1,567.43	1,363.61	1,568.15	1,344.93
11	1	-1	0	1,314.91	1,283.67	1,314.91	1,341.49	1,458.11
12	1	-1	1	1,518.24	1,458.11	1,486.05	1,550.21	1,333.30
13	1	0	-1	791.19	791.48	787.21	787.54	786.52
14	1	0	0	669.41	650.15	651.57	663.38	677.91
15	1	0	1	547.52	541.34	560.47	567.17	553.93
16	1	1	-1	624.39	639.82	628.23	668.36	626.52
17	1	1	0	497.49	477.97	471.48	465.94	491.48
18	1	1	1	469.08	437.74	465.12	445.78	462.80



รูปที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการแช่และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (°C) กับความหนาแน่นของโฟมกลาส (kg/m^3) ของสูตร A

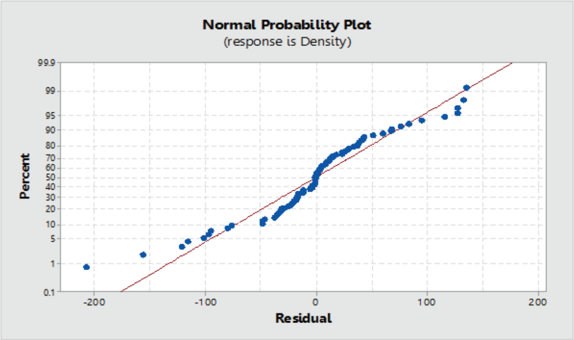


รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการ และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (°C) กับความหนาแน่นของโฟมกลาส (kg/m^3) ของสูตร B

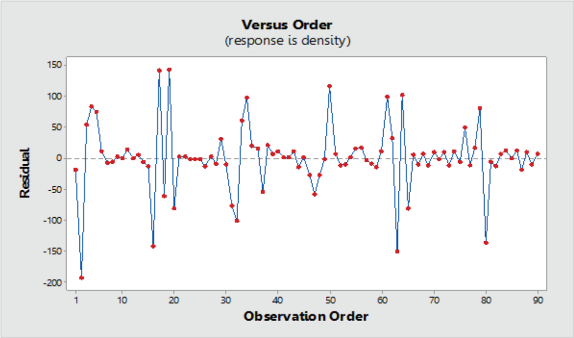
จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่า ค่าความหนาแน่นของโฟมกลาสมีค่าไม่เท่ากันที่ช่วงเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความหนาแน่นของโฟมกลาสแปรผันตามเวลาในการแช่และอุณหภูมิในการเผา

4.3 ตรวจสอบผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับและสามระดับ (2^k and 3^k Factorial Design)

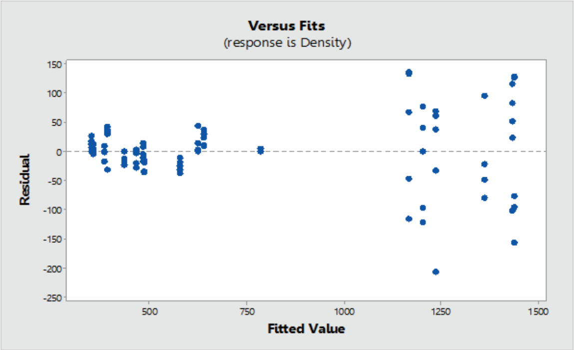
จากตารางที่ 4 นำมาตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติตามแนวเส้นตรง มีรูปแบบเป็นอิสระและมีค่ามีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง ทำให้ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน จึงมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นต่อไปได้ ดังรูปที่ 5 ก ข และ ค



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบของค่า Residual (2^k and 3^k Factorial Design)

หลังจากขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองแล้ว นำข้อมูลในตารางที่ 4 ไปทำการวิเคราะห์ทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ 3^k โดยจะมีรูปแบบเทอมการทดลองทั้งหมด 4 แบบ คือ Linear, Linear + Square, Linear + Interaction และ Full Quadratic เพื่อหาสมการถดถอยที่ดีที่สุดในการหาพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งจากการทดลองพบว่ารูปแบบเทอม Full Quadratic ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุด ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยเลือกรูปแบบเทอมแบบ Full Quadratic

Respondse Surface Regression: Density versus Formular, Time, Temperature.						
Formular”Temperature	1	21956	21956	4.04	0.048	
Time”Temperature	1	12693	2693	2.34	0.130	
Error	81	440139	5434			
Lack-of-Fit	9	180861	20096	5.58	0.000	
Pure Error	72	259278	360			
Total	89	14737115				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
73.7144	97.014	96.724	96.234			
Coded Coefficients						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		14809	576	25.72	0.000	
Formula	1191	596	118	5.04	0.000	57.72
Time	-3.32	-1.66	9.55	-0.17	0.862	100.72
Temperature	-62.64	-31.32	1.34	-23.36	0.000	417.63
Time*Time	0.722	0.361	0.165	2.19	0.031	49.00
Temperature* Temperature	.034042	0.017021	0.000785	21.68	0.000	410.63
Formula* Time	-17.24	-8.62	1.90	-4.53	0.000	8.00
Formula* Temperature	-0.528	-0.264	0.131	-2.01	0.048	52.72
Time* Temperature	-0.02457	-0.01228	0.00804	-1.53	0.130	57.72
Regression Equation in Units						
Density = 14382 + 1229 + 0.56 Time – 0.21538 Temperature + 0.00361 Time*Time + 0.000001 Temperature* Temperature – 1.724 Formula*Time – 0.00364 Formula* Temperature – 0.000008 Time* Temperature						

4.4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการพองตัวของโฟมกลาส

ด้วยหลักการทางสถิติดังตารางที่ 5 พบว่า ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาสอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) คือ สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) เวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ

<u>สมมติฐาน</u> อิทธิพลของสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส อุณหภูมิในการเผาโฟมกลาสและเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ

$$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

(สมการที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส อุณหภูมิในการเผาโฟมกลาสและเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของโฟมกลาส)

$$H_1 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$$ อย่างน้อย 1 ตัว ไม่เท่ากับศูนย์

(สมการที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส อุณหภูมิในการเผาโฟมกลาสและเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้นไม่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของโฟมกลาส)

เมื่อ τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส

β คือ อิทธิพลที่เกิดจากอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส

γ คือ อิทธิพลที่เกิดจากเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ

จากสมมติฐาน พบว่า สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาสและอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาสมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของโฟมกลาส แต่เวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ ที่ได้ไม่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของโฟมกลาส สามารถเขียนแบบจำลองสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์

ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาส ได้สมการดังนี้

$$Y = 14382 + 1229x_1 + 0.56x_2 - 0.21538x_3 + 0.00361x_2^2 + 0.000001x_3^2 - 1.724x_1x_2 - 0.0036\, x_1x_3 - 0.000008x_2x \quad (1)$$

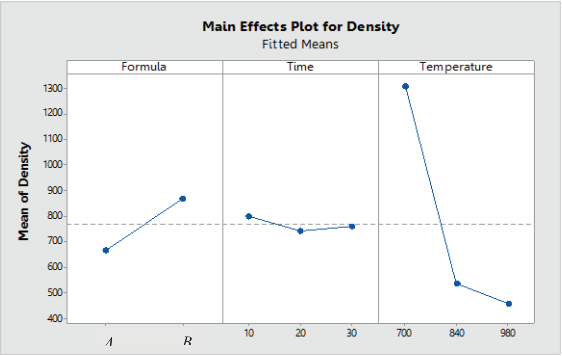
เมื่อ y คือ ค่าความหนาแน่นการพองตัวของโฟมกลาส

x_1 คือ สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส

x_2 คือ เวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น

x_3 คือ อุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq และ R-Sq(adj)) พบว่า R-Sq(adj) มีค่าเท่ากับ 96.72% หมายความว่า สมการถดถอยที่ประมาณเหมาะสมกับข้อมูลในระดับดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แบบจำลองถดถอยที่อยู่ในรูปแบบเทอม Full Quadratic ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมกลาส

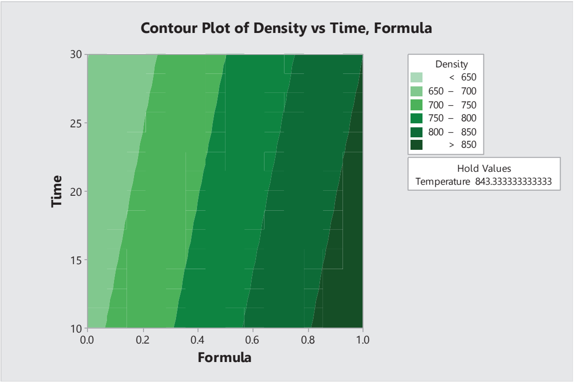


รูปที่ 6 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัย

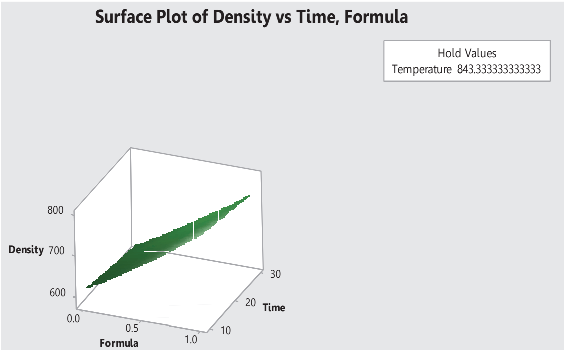
เมื่อพิจารณากราฟอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัยของการพองตัวของโฟมกลาส ดังรูปที่ 6 พบว่า สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาสที่ A จะให้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าสูตรที่ B ในลักษณะแบบ Linear และเมื่อพิจารณาเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ พบว่า เวลาส่งผลต่อการพองตัวของโฟมกลาสแบบ Linear โดยเมื่อเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นของโฟมกลาสมีแนวโน้มลดน้อยลง ส่วนอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส พบว่าอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาสสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นของโฟมกลาสจะลดน้อยลง แบบ Linear เช่นกัน คือ เมื่อค่าความหนาแน่นของโฟมกลาสลดน้อยลง การพองตัวของโฟมกลาสก็จะมากขึ้นด้วย

4.5 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการพองตัวของโฟมกลาสในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับและสามระดับ

จากทดลองหาสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมในการพองตัวของโฟมกลาส โดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Respond Optimizer ในโปรแกรม Minitab ใช้ในการประมวลผลในลักษณะของวิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) จะสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นโครงร่างและพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 12

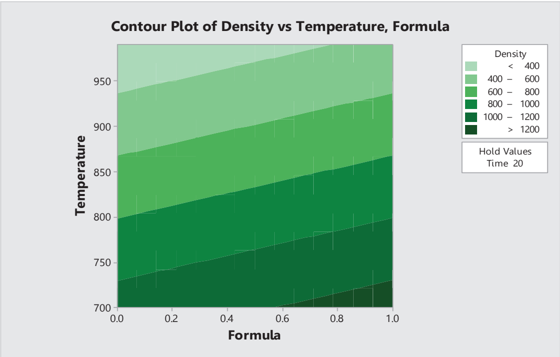


รูปที่ 7 โครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) และเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ (Time)

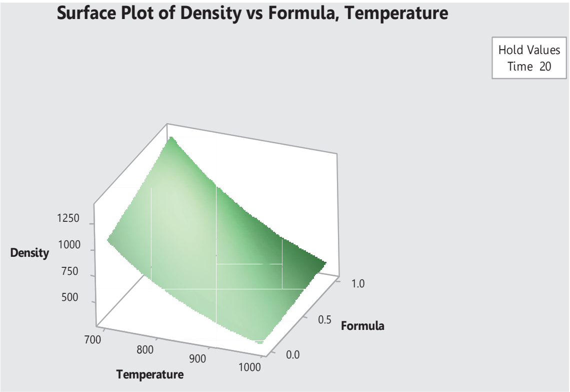


รูปที่ 8 พื้นผิวตอบสนองระหว่างสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) และเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ (Time)

จากรูปที่ 7 และรูปที่ 8 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) และเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ (Time) สามารถระบุระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการพองตัวของโฟมกลาส โดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Respond Optimizer พบว่า ระดับอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (Temperature) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 843.333 หรือประมาณ 840 องศาเซลเซียส

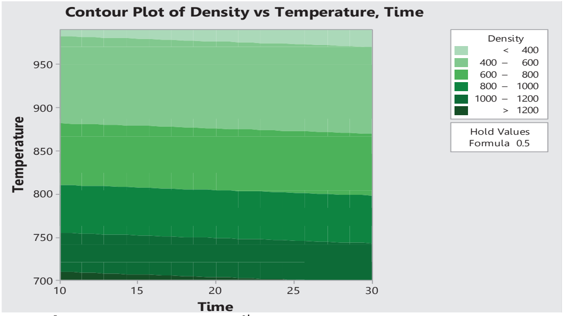


รูปที่ 9 โครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (Temperature)



รูปที่ 10 พื้นผิวตอบสนองระหว่างสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (Temperature)

จากรูปที่ 9 และรูปที่ 10 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างสูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (Temperature) สามารถระบุระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการพองตัวของโฟมกลาส โดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Respond Optimizer ในโปรแกรม Minitab Version 17 พบว่า ระดับเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ (Time) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 นาที

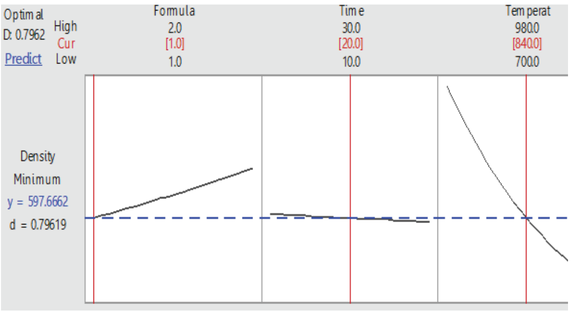


รูปที่ 11 โครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ (Time) และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (Temperature)

จากรูปที่ 11 เป็นกราฟแสดงโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ และอุณหภูมิในการเผาโฟมกลาส (Temperature) สามารถระบุระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการพองตัวของโฟมกลาส โดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Respond Optimizer ตารางที่ 6 พบว่า สูตรที่ใช้ในการผลิตโฟมกลาส (Formula) ที่เหมาะสมคือ สูตรที่ A ที่มีส่วนผสมเป็นสารโพแทสเซียมคาร์บอเนต จากทดลองหาสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมในการพองตัวของโฟมกลาส

ตารางที่ 6 Output Optimization Point

Response **Optimization: Density**					
Parameter					
Response	Goal Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Density	Minimum	349.240	1568.15	1	1
Variable Ranges					
Variable	Values				
Formula	1				
Time	20				
Temperature	840				
Response Optimization: Density					
Solution					
			Density	Composite	
Solution	Fomula	Time	Temperature	Fit	Desirability
1	1	20	840	597.666	0.796190
Multiple Response Prediction					
Variable	Setting				
Formula	1				
Time	20				
Temperature	840				
Respons	Fit	SE Fit	95% CI		
Density	597.67	3.62	(590.61,604.81)		



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการทดลองใช้ Response Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า จะต้องใช้สูตรผสม A หรือสูตรที่ 1 และต้องเผาที่อุณหภูมิประมาณ 840 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการแช่ที่อุณหภูมิ 840 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาส โดยการประยุกต์ใช้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวของโฟมกลาส ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐาน การปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยจะส่งผลต่อการพองตัวของโฟมกลาส จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเชิงสถิติ จากการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเชิงสถิติ สามารถแสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อการพองตัวการผลิตโฟมกลาส ซึ่งจากการทดลองสูตร 2 สูตร ผลจากการทดลองพบว่า สูตรที่ A ที่มีส่วนผสมสารโพแทสเซียมคาร์บอเนต มีการพองตัวของโฟมกลาสที่ดีกว่าการใช้สารโซเดียมคาร์บอเนต เนื่องจากสารโพแทสเซียมคาร์บอเนต

จะสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าสารโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งการลดลงของค่าความหนาแน่น แสดงถึงการพองตัวของโฟมกลาส เนื่องจากการสลายตัวของสารก่อฟองชนิด Carbonate compounds เมื่อสลายตัว ทำให้ความหนาแน่นของโฟมกลาสลดลง ซึ่งการลดลงของความหนาแน่นจะส่งผลต่อน้ำหนักของโฟมกลาสด้วย อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการพองตัวของโฟมกลาสที่อุณหภูมิ 840 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการแช่ที่อุณหภูมิ 840 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

6. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงสูตรที่ใช้ในการผลิต อุณหภูมิในการเผา และเวลาในการแช่ ณ อุณหภูมินั้น ๆ ของการเผาโฟมกลาสเท่านั้น ซึ่งถ้าต้องการนำไปใช้งาน เช่น สร้างอาคารบ้านเรือน ทำถนน สร้างสะพาน ควรมีการศึกษาการทดสอบในเรื่องของค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งของโฟมกลาส สารแต่งเติมที่ใช้ในการผสม รวมถึงคุณสมบัติของแก้วแต่ละชนิด เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ถูกต้องตามความเหมาะสมกับประเภทของงานนั้น ๆ เนื่องจากโฟมกลาสมีน้ำหนักเบาจึงถูกนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทน เช่น อิฐมอญ และคอนกรีตบล็อค เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นทางเลือกใหม่สำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่สามารถนำไปเป็นทางเลือกใหม่ให้กับอุตสาหกรรมต่อไปในการเลือกวัสดุทดแทน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ และภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ สาขาวิชาวัสดุขั้นสูงและนาโนเทคโนโลยี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เทคนิคการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยเศษแก้ว [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://ceramic.dss.go.th/index.php/en/knowledge/article/164-ceramic, 2012.

[2] Attila, Y., Guiidenben, M., Tasdemirci, A. Foam glass processing using a polishing glass powder residue. *Ceramics International*, 2013; 39(5): 5869-5877.

[3] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อปจำกัด, 2551; 103.

[4] ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545, 449.